Journal of Agroecology
Vol. 12, No.3, Fall 2020, p. 469-486

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۲، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹، ص ۴۸۶-۴۶۹

مقاله علمی - پژوهشی

شبیه‌سازی رطوبت خاک برای دوره آتی به‌کمک مدل SWAP با استفاده از مدل‌ها و سناریوهای گزارش پنجم تغییر اقلیم (مطالعه موردی: مزرعه گندم (*Triticum aestivum* L.) فاروب نیشابور)

سعید قوام‌سعیدی نوقابی[۱*]، مصطفی یعقوب‌زاده[۲]، حامد منصوری[۳]، حسین حمامی[۴]، مختار صالحی طبس[۱] و محمدحسین نجفی مود[۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۰۱

قوام‌سعیدی نوقابی، س.، یعقوب‌زاده، م.، منصوری، ح.، حمامی، ح.، صالحی طبس، م.، و نجفی مود، م.ح.، ۱۳۹۹. شبیه‌سازی رطوبت خاک برای دوره آتی به‌کمک مدل SWAP با استفاده از مدل‌ها و سناریوهای گزارش پنجم تغییر اقلیم (مطالعه موردی: مزرعه گنـدم *Triticum aestivum* L.) فاروب نیشابور). بوم‌شناسی کشاورزی ۱۲(۳): ۴۸۶-۴۶۹.

چکیده

افزایش گازهای گلخانه‌ای در دوره‌های آتی و در نتیجه، تشدید تغییرات پارامترهای اقلیمی، می‌تواند تأثیرات منفی زیادی را بر سیستم‌های مختلف از جمله منابع آب، محیط زیست، صنعت، بهداشت، کشاورزی و کلیه بخش‌های مرتبط با سیستم اقلیم بگذارد. لذا در این تحقیق برای شبیه‌سازی رطوبت ظرفیت زراعی خاک در دوره آتی (۲۰۳۹-۲۰۲۰) نسبت به دوره پایه (۲۰۱۱-۱۹۹۲) از مزرعه گندم (*Triticum aestivum* L.) فاروب واقع در دشت نیشابور استفاده شد. داده‌های اقلیمی به‌کمک شش مدل GCM و دو سناریو انتشار ۴/۵ و ۸/۵ برآورد گردید و به‌کمک مدل LARS-WG ریزمقیاس شد و وارد مدل SWAP گردید. همچنین به‌منظور ارزیابی و دقت مدل SWAP از معیارهـای آمـاری RMSE، MAE و R^2 اسـتفاده شـد. نتـایج تغییرات پارامترهای اقلیمی نشان داد، دمای حداقل، حداکثر و بارش در دوره آتی نسبت به دوره پایه افزایش یافته است و سناریو ۸/۵ نسبت به سناریو ۴/۵، دمای بیشتر و بارش کمتری را برآورد کرده است. همچنین رطوبت خاک در دوره آتی نسبت به دوره پایه برای هر دو سناریو کاهش یافته اسـت. بررسی دامنه تغییرات مدل‌های GCM نشان داد، برای رطوبت هفتگی تحت هر دو سناریو، مدل CanESM2 و برای رطوبت سالیانه تحت سناریوهای ۴/۵ و ۸/۵، به‌ترتیب مدل‌های MIROC و IPSL دارای بیشترین قطعیت نسبت به سایر مدل‌ها می‌باشند. از طرفی، بررسی دامنه تغییرات سناریوهای انتشار نشان داد، رطوبت هفتگی و سالیانه، به‌ترتیب از کمترین و بیشترین قطعیت نسبت به دوره پایه برخوردار هستند.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، سناریو انتشار، مدل GCM، مدل LARS-WG.

مقدمه

بـا افـزایش تولیـد گازهـای گلخانـه‌ای، یکـی از بـزرگ‌تـرین چالش‌های موجود در قرن اخیر، پدیده تغییر اقلیم است (Van Pelt

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی آب دانشـکده کشـاورزی دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
۲- استادیار گروه علوم و مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
۳- استادیار بخش تحقیقات چغندرقند، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی همدان، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران.
۴- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشـکده کشـاورزی دانشـگاه بیرجنـد، بیرجند، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: saeidghavam@birjand.ac.ir)
Doi:10.22067/jag.v12i3.79665

(Swart, 2011 &. گزارش‌های هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم[1] نشان می‌دهد که در صورت ادامه روند کنونی تولید گازهای گلخانه‌ای به‌دلیل مصرف سوخت‌های فسیلی، غلظت این گازها تا قبل از پایان قرن ۲۱ می‌تواند به بیش از ۶۰۰ قسمت در میلیون[2] برسد (IPCC, 2007). حال آن‌که اگر انتشار این گازها کاهش نیابد، تحت چهار سناریو جدید افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای ارائه شده در گزارش پنجم هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم، دمای سطحی کره زمین تا اواخر قرن ۲۱ بیش از ۱/۵ تا دو درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره ۱۸۵۰ تا ۱۹۰۰ میلادی افزایش می‌یابد که این افزایش دما در سال‌ها و دهه‌های مختلف، یکسان نیست (IPCC, 2013). از این رو، بررسی این پدیده برای مقابله، برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب در دوره‌های آتی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

عبارت رطوبت خاک معمولاً به ذخیره موقت بارش در عمق بالای یک تا دو متری از خاکرخ اشاره دارد (Narasimhan & Srinivasan, 2005). نقش رطوبت خاک در منطقه ریشه به‌عنوان یک پارامتر کلیدی در هواشناسی، هیدرولوژی و کشاورزی به‌خوبی شناخته شده است. آگاهی مناسب از رطوبت خاک، برای درک و پیش‌بینی اثرات متقابل بین اقلیم، آب‌وهوا و فرآیند سطح زمین لازم است (Hosseinzadeh et al., 2018). اندازه‌گیری رطوبت خاک به‌طور مستقیم با استفاده از روش‌های درجا مانند نوترون‌متر و TDR یا به‌طور غیرمستقیم به‌وسیله توابع انتقالی و یا سنجش از دور انجام می‌شود (Khanmohammadi et al., 2015). امروزه برای ارزیابی داده‌های رطوبت خاک، مدل‌های زیادی برای شبیه‌سازی حرکت آب و املاح در خاک توسعه یافته‌اند. یکی از این مدل‌ها، مدل SWAP می‌باشد که برای شبیه‌سازی توازن آب و مواد محلول در یک خاک کشت شده با انواع مختلف شرایط مرزی شامل امکان زهکشی و مدیریت‌های مختلف آبیاری به‌کار می‌رود.

در زمینه اثر تغییر اقلیم بر رطوبت خاک، تحقیقاتی در داخل و خارج کشور انجام شده است. محققین با در نظر گرفتن تغییرات درجه حرارت هوا و بارندگی حاصل از سناریوهای اقلیمی A_2 و B_2 برای دوره‌های اقلیمی ۲۰۳۹-۲۰۱۰ و ۲۰۷۰-۲۰۳۹ در منطقه مربوطه و استفاده از مدل BUDGET، تأثیر تغییرات اقلیمی بر میزان رطوبت خاک و عکس‌العمل گندم (*Triticum aestivum* L.) دیم نسبت به آب در غرب اصفهان (داران) را در دوره‌های مذکور مورد بررسی قرار دادند (Khoshhal Dastjerdi et al., 2010). در حوضه ورمیلیون با استفاده از مدل WetSpa، اثر تغییر اقلیم بر روی دبی جریان و رطوبت خاک بررسی شد. در این تحقیق از مدل HADCM3 و دو سناریو A_2 و B_1 و مدل SDSM برای برآورد پارامترهای اقلیمی استفاده شد. نتایج نشان داد که کاهش بارش در فصل تابستان هم‌زمان با افزایش نیاز آبی، منجر به کاهش رطوبت خاک می‌شود که این امر می‌تواند اثر منفی بر روی پوشش گیاهی طبیعی و رشد محصولات دیم بگذارد (Tavakoli & De Smedt, 2012). در کشور آفریقایی مالاوی، اثر تغییر اقلیم بر مقدار رطوبت خاک را با استفاده از شش مدل GCM و سناریو RCP8.5 برای دهه ۲۰۵۰ میلادی به‌کمک مدل SWAT بررسی کردند. نتایج نشان داد که بارش و رطوبت خاک در شمال کشور افزایش، ولی در جهت جنوب مقادیر آن‌ها کاهش می‌یابد (Adhikari & Nejadhashemi, 2016). در تحقیقی دیگر، اثر متقابل رطوبت خاک و تغییرات آب‌وهوا با استفاده از مدل CESM، به‌کمک داده‌های گزارش پنجم تغییر اقلیم در کشور سوئیس ارزیابی شد. نتایج حاکی از اهمیت تغییر رطوبت و تأثیر آن بر دمای خاک بود (Huser et al., 2017).

تاکنون تحقیقات زیادی در مورد اثرات تغییر اقلیم بر مدل‌های شبیه‌ساز رواناب انجام شده است، ولی در مورد تأثیرپذیری رطوبت ظرفیت زراعی خاک از تغییر اقلیم، تحقیقات نادری در سطح داخل و خارج کشور انجام شده است. این امر به‌دلیل این است که رطوبت خاک باید به‌وسیله یکی از مدل‌های جامع آب، خاک و گیاه برای دوره پایه و آتی شبیه‌سازی شود. بنابراین، این تحقیق با هدف شبیه‌سازی رطوبت خاک برای دوره آتی نسبت به دوره پایه، با استفاده از داده‌های گزارش پنجم تغییر اقلیم و به‌کمک مدل SWAP انجام شد.

مواد و روش‌ها

مشخصات منطقه مورد مطالعه

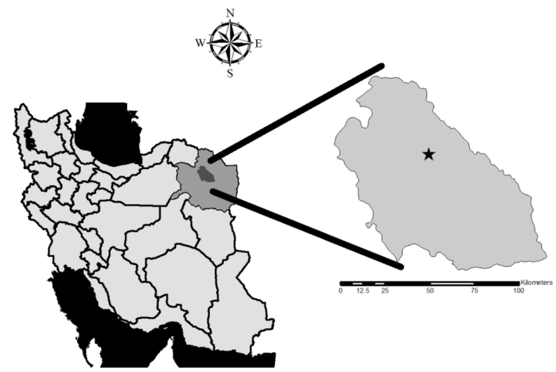
منطقه مورد مطالعه در این تحقیق، مزرعه فاروب دشت نیشابور واقع در استان خراسان رضوی می‌باشد (شکل ۱). وسعت این دشت حدود ۷۲۹۳ کیلومترمربع می‌باشد که ۵۶ درصد آن را دشت و بقیه را ارتفاعات تشکیل می‌دهند. دشت نیشابور از نظر موقعیت جغرافیایی

1- Intergovernmental panel climate change
2- Part per million

در حد فاصل ۱۳′ ۵۸° تا ۳۰′ ۵۹° طول شرقی و ۴۰′ ۳۵° تا ۳۹′ ۳۶° عرض شمالی قرار دارد. اقلیم منطقه نیمه‌خشک و خشک بوده و متوسط درجه حرارت و بارندگی سالیانه آن به‌ترتیب ۱۲ درجه سانتی‌گراد و ۲۹۲ میلی‌متر می‌باشد. میزان تبخیر به‌علت بالا بودن درجه حرارت هوا زیاد بوده و متوسط آن برای کل حوضه ۲۳۳۵ میلی‌متر در سال است (Yaghoobzadeh et al., 2017). مزرعه مورد مطالعه در این تحقیق سطحی حدود ۱۰۰ هکتار دارد. کشت گندم در این منطقه به‌صورت پاییزه بوده و مشخصات کاشت و برداشت گیاه در جدول ۱ ارائه شده است. همچنین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و خصوصیات شیمیایی آب مورد استفاده در مزرعه آزمایشی، به‌ترتیب در جداول ۲ و ۳ ارائه شده است.

مشخصات مزرعه مورد مطالعه

اطلاعات مربوط به تاریخ کاشت و برداشت گیاه، خصوصیات خاک و آب مزرعه در جدول‌های ۱ تا ۳ ارائه شده است.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور و استان
Fig. 1- Location of study area in the country and province

جدول ۱- مشخصات کاشت و برداشت گیاه مورد استفاده در مزرعه آزمایشی
Table 1- Planting and harvesting specification used in the experimental farm

تاریخ کاشت Planting date		تاریخ برداشت Harvest data	
تاریخ شمسی Solar data	روز ژولیوسی Julius day	تاریخ شمسی Solar data	روز ژولیوسی Julius day
2008.10.1	275	2009.6.30	181

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی
Table 2- Soil physical and chemical characteristics of experimental farm

عمق Depth (cm)	هدایت الکتریکی عصاره اشباع EC of saturation extract ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته pH	پژمردگی دائم PWP	ظرفیت زراعی FC	جرم مخصوص ظاهری Bulk density ($g.cm^{-3}$)	بافت Texture	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)
0-30	1.06	8	7.3	20.1	1.51	لوم سیلتی Silty-loam	18	52	30

جدول ۳- خصوصیات شیمیایی آب مورد استفاده در مزرعه آزمایشی
Table 3- Water chemical characteristics used in experimental farm

هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته pH	نسبت جذب سدیم SAR	کاتیون‌ها Cations ($meq.lit^{-1}$)				آنیون‌ها Anions ($meq.lit^{-1}$)			
			Ca^{++}	Mg^{++}	Na^{+}	K^{+}	Cl^{-}	HCO_3^{-}	CO_3^{2-}	SO_4^{2-}
0.6	7.9	3.5	3.5	1	3.5	1.1	2.5	2.8	0	1

روش انجام تحقیق

روش انجام تحقیق بدین صورت است که ابتدا مدل SWAP با استفاده از داده‌های هواشناسی و زراعی منطقه اجرا شد و رطوبت برای عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک شبیه‌سازی گردید. در مرحله بعد برای اطمینان از نتایج شبیه‌سازی رطوبت، نتایج رطوبت مدل با داده‌های اندازه‌گیری شده رطوبت در سال زراعی ۲۰۰۹-۲۰۰۸ واسنجی و صحت‌سنجی شد. رطوبت در یک یا دو روز بعد از آبیاری توسط دستگاه رطوبت‌سنج TDR اندازه‌گیری شده است که حدوداً مقدار آن معادل ظرفیت زراعی می‌باشد. عمل واسنجی با استفاده از ۶۵ درصد داده‌ها و صحت‌سنجی با استفاده از ۳۵ درصد بقیه داده‌ها در طی دوره رشد گیاه انجام شد. بعد از اطمینان از صحت نتایج مدل، رطوبت خاک برای دوره پایه (۲۰۱۱-۱۹۹۲) شبیه‌سازی گردید. سپس برای برآورد مقادیر رطوبت در دوره آتی (۲۰۳۹-۲۰۲۰) به‌کمک شش مدل و دو سناریو انتشار ۴/۵ و ۸/۵، نسبت مقادیر ماهانه پارامترهای هواشناسی دوره آتی به دوره پایه برآورد گردید. به‌منظور تولید سناریوهای روزانه پارامترهای هواشناسی دوره آتی به‌کمک داده‌های مشاهداتی (۲۰۱۱-۱۹۹۲) ایستگاه سینوپتیک نیشابور، پارامترهای دما و بارش با استفاده از مدل LARS-WG[1] ریزمقیاس شد. در نهایت، مدل SWAP با استفاده از سناریوهای روزانه تغییراقلیم هواشناسی و داده‌های زراعی دوره پایه، رطوبت موجود در خاک را برای دوره آتی شبیه‌سازی نمود. همچنین برای ارزیابی عدم قطعیت نتایج رطوبت، از باندهای عدم قطعیت یا باکس پلات استفاده شد. به‌طوری‌که هر چه دامنه باکس کمتر باشد، نشان‌دهنده قطعیت بیشتر در تخمین رطوبت می‌باشد.

سناریوها و مدل‌های مورد استفاده

در حال حاضر معتبرترین ابزار جهت تولید سناریوهای تغییر اقلیم، مدل‌های GCM می‌باشند. هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم در تدوین گزارش پنجم خوداز سناریوهای جدید تحت عنوان RCP[2] استفاده نموده است. سناریوهای RCP شامل یک سناریو کاهشی سخت‌گیرانه (RCP2.6)، دو سناریو حد واسط (RCP4.5, RCP8.5) و یک سناریو بدبینانه (RCP8.5) با تولید گازهای گلخانه‌ای بسیار بالا می‌باشند (IPCC, 2013). برای تولید داده‌های اقلیمی و مشخص شدن تغییرات آن‌ها در دوره آتی، از شش مدل GCM در ترکیب با دو سناریو انتشار ۴/۵ و ۸/۵ استفاده شد. پارامترهای اقلیمی مورد استفاده در این تحقیق شامل دمای حداقل، حداکثر و بارش بوده که یکی از مهم‌ترین موارد تأثیرگذار بر رطوبت خاک می‌باشند. خصوصیات مدل‌ها و سناریوهای مورد استفاده در این تحقیق، در جدول ۴ ارائه شده است.

مدل LARS-WG

به‌منظور ریزمقیاس نمایی و تبدیل داده‌ها از مقیاس بزرگ‌تر و ماهانه به مقیاس کوچک‌تر و روزانه از مدل LARS-WG استفاده شد. مدل LARS-WG یکی از پرکاربردترین مدل‌های آماری در کاهش مقیاس خروجی‌های مدل گردش عمومی جو محسوب می‌شود. این مدل از نوع مولدهای آب‌وهوایی است که می‌تواند سری‌های زمانی روزانه دمای حداقل، حداکثر، بارندگی و تابش خورشید را تولید کند. برای این منظور از داده‌های روزانه مشاهده شده یک ایستگاه مشخص استفاده می‌کند تا یک مجموعه از پارامترها را برای توزیع‌های احتمال متغیرهای هواشناسی و همچنین همبستگی بین آن‌ها تولید کند. این مجموعه از پارامترها برای تولید سری‌های زمانی متغیرهای هواشناسی ساختگی با طول دوره دلخواه استفاده می‌شود (Semenov, 2008).

شاخص‌های ارزیابی

به‌منظور ارزیابی و دقت مدل SWAP، از سنجه‌های آماری ریشه میانگین مربعات خطا[3](RMSE)، میانگین قدر مطلق خطا[4] (MAE) و ضریب تبیین[5] (R^2) استفاده شد (معادلات ۳-۱).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - x_m)^2}{n}}$$ معادله (۱)

1- Long Ashton Research Station-Weather Generator
2- Representative concentration pathways

3- Root mean square error
4- Mean absolute error
5- Coefficient of determination

جدول ٤- خصوصیات مدل‌ها و سناریوهای مورد استفاده در این تحقیق
Table 4- Models and scenarios characteristics used in this research

سناریوهای انتشار Emotion scenarios	نام مدل Model name	کشور مؤسس Founder country	اندازه تفکیک (طول×عرض جغرافیایی، درجه) Horizontal resolution (latitude×longitude, degree)
RCP4.5 & RCP8.5	CanESM2	کانادا Canada	1.25×1.875
	GFDL	آمریکا America	2.5×2
	MIROC	ژاپن Japan	1.77×2.81
	IPSL	فرانسه France	1.875×3.75
	CSIROMK3.6	استرالیا Australia	1.8×1.8
	GISS-ES-R	آمریکا America	2×2

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^{n} |x_i - x_m|}{n}$$ معادله (۲)

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} (x_m - \overline{x_m})^2}{\sum_{i=1}^{n} \left(x_i - \overline{x_m}\right)^2}$$ معادله (۳)

که در این معادلات، x_i: مقادیر پیش‌بینی شده، x_m: مقادیر اندازه‌گیری شده (مشاهده شده)، n: تعداد کل مشاهدات و $\overline{x_m}$: مقدار متوسط پارامتر مشاهده شده است. شاخص R^2 نسبت پراکندگی را بین مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد. از سوی دیگر، RMSE و MAE کمتر نشان‌دهنده آن است که مدل با خطای کمتری نسبت به پیش‌بینی مقادیر اقدام می‌نماید (Dehghan et al., 2011).

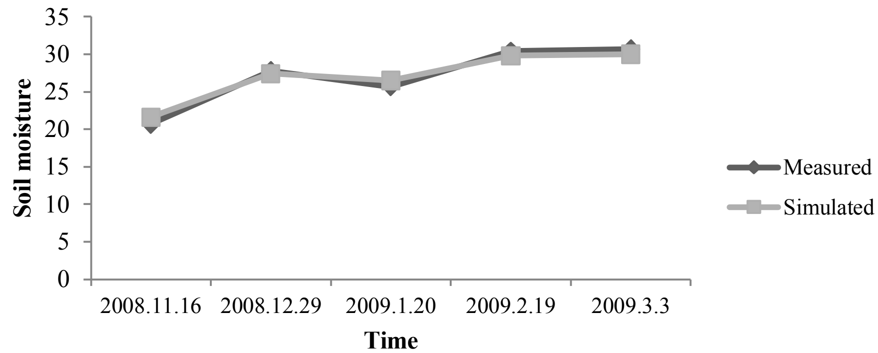
نتایج و بحث

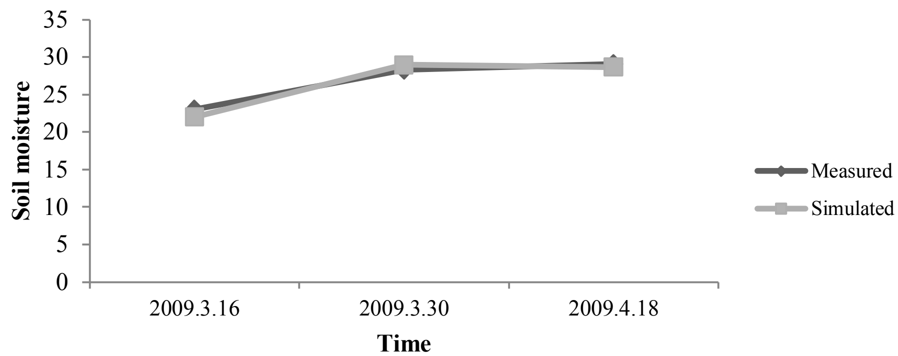
واسنجی و صحت‌سنجی مدل SWAP

در این تحقیق، گراف نقطه‌ای بین داده‌های اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده رطوبت ظرفیت زراعی خاک در مراحل واسنجی و صحت‌سنجی مدل SWAP ترسیم و در شکل ۲ ارائه شده است. وجود ضرایب تبیین (R^2) ۷۹/۵ و ۷۲ درصد بین نتایج اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده، نشان‌دهنده توانایی مدل SWAP در شبیه‌سازی رطوبت عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک است (جدول ۵). نتایج این بخش در مقایسه با نتایج تحقیقات دیگر محققین در زمینه واسنجی و صحت‌سنجی مدل SWAP به‌منظور شبیه‌سازی رطوبت خاک، از مقبولیت خوبی برخوردار است (Nahvinia et al., 2018; Yaghoobzadeh et al., 2018).

داده‌های اقلیمی تحت شرایط تغییر اقلیم آتی

جدول ۶ مقادیر متوسط روزانه پارامترهای اقلیمی را در دوره پایه و آتی تحت دو سناریو ۴/۵ و ۸/۵ نشان می‌دهد. با توجه به جدول، دمای حداقل، حداکثر و بارش برای دوره آتی نسبت به دوره پایه (baseline) افزایش یافته است. در تحقیق سیاری و همکاران (Sayari et al., 2013) مشابه نتایج این بخش، افزایش اندک در بارش، دمای حداکثر و حداقل برای سال‌های آتی برآورد شده است. از طرفی، به‌منظور مقایسه سناریوها، مقادیر سناریو ۸/۵ نسبت به سناریو ۴/۵، افزایش بیشتری در دما و کاهش بیشتری در بارش را نشان می‌دهد که بیانگر بدبینانه بودن سناریو ۸/۵ می‌باشد. در تحقیق یعقوب‌زاده و همکاران (Yaghoobzadeh et al., 2017) که با استفاده از داده‌های گزارش چهارم تغییر اقلیم انجام شد، سناریو A_2 نسبت به B_1، افزایش بیشتری در دما و بارش داشت و این امر، بدبینانه بودن سناریو A_2 را آشکارتر می‌کند.





شکل ۲- واسنجی (بالا) و صحت‌سنجی (پایین) مدل SWAP با داده‌های رطوبت عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک

Fig. 2- Calibration (top) and Validation (bottom) of SWAP model with soil moisture data of 30 cm depth

جدول ۵- ارزیابی مقادیر رطوبت خاک شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده

Table 5- Estimation of simulated and measured soil moisture content

ارزیابی مدل Model estimation	عمق Depth (cm)	MAE (%)	RMSE (%)	R^2 (%)
واسنجی Calibration	0-30	0.045	2.31	79.5
صحت‌سنجی Validation		0.12	2.47	72

جدول ٦- مقادیر متوسط روزانه پارامترهای اقلیمی در دوره پایه و آتی تحت دو سناریو ٤/٥ و ٨/٥

Table 6- Daily average values of climate parameters in the base and future periods under two scenarios of 4.5 and 8.5

سناریوهای انتشار Emotion scenarios	دمای حداقل Minimum temperature (℃)	دمای حداکثر Maximum temperature (℃)	بارش Precipitation (mm)
Baseline	6.80	22.08	0.63
RCP4.5	8.40	22.22	0.71
RCP8.5	8.64	22.56	0.69

جدول ۷ مقادیر متوسط روزانه پارامترهای اقلیمی را در دوره پایه و آتی برای مدل‌های GCM تحت سناریو ۴/۵ نشان می‌دهد. این

جدول مشخص می‌کند دمای حداقل، حداکثر و بارش برای اکثر مدل‌های GCM در دوره آتی نسبت به دوره پایه افزایش یافته است. به‌منظور مقایسه مدل‌ها در برآورد پارامترهای اقلیمی دوره آتی نسبت به دوره پایه، بیشترین وکمترین افزایش دمای حداقل به‌ترتیب مربوط به مدل‌های IPSL و GFDL و بیشترین و کمترین افزایش دمای حداکثر و بارش به‌ترتیب مربوط به مدل‌های CanESM2 و CSIROMK3.6 بود. همچنین مدل‌های GFDL و GISS-ES-R مقادیر دمای حداکثر را در دوره آتی نسبت به دوره پایه کمتر برآورد کرده‌اند و مدل MIROC مقدار بارش را در دوره آتی برابر با دوره پایه برآورد کرده است.

جدول ۷- مقادیر متوسط روزانه پارامترهای اقلیمی در دوره پایه و آتی برای مدل‌های GCM تحت سناریو ٤/٥

Table 7- Daily average values of climate parameters in the base and future periods for GCM models under the scenario 4.5

مدل Model	دمای حداقل Minimum temperature (℃)	دمای حداکثر Maximum temperature (℃)	بارش Precipitation (mm)
Baseline	6.80	22.08	0.63
CanESM2	8.31	23.39	0.79
GFDL	7.92	21.37	0.75
MIROC	8.73	22.27	0.63
IPSL	8.78	22.57	0.71
CSIROMK3.6	8.45	22.21	0.65
GISS-ES-R	8.19	21.54	0.74

جدول ۸ مقادیر متوسط روزانه پارامترهای اقلیمی را در دوره پایه و آتی برای مدل‌های GCM تحت سناریو ۸/۵ نشان می‌دهد. با توجه به این جدول، دمای حداقل، حداکثر و بارش برای اکثر مدل‌های GCM در دوره آتی نسبت به دوره پایه افزایش یافته است. به‌منظور مقایسه مدل‌ها در برآورد پارامترهای اقلیمی دوره آتی نسبت به دوره پایه، بیشترین و کمترین افزایش دمای حداقل به‌ترتیب مربوط به مدل‌های MIROC و GISS-ES-R، بیشترین و کمترین افزایش دمای حداکثر به‌ترتیب مربوط به مدل‌های CanESM2 و GFDL و بیشترین و کمترین افزایش بارش به‌ترتیب مربوط به مدل‌های GISS-ES-R و IPSL بود. همچنین مدل GISS-ES-R مقدار دمای حداکثر و مدل CSIROMK3.6 مقدار بارش را در دوره آتی نسبت به دوره پایه کمتر برآورد کرده‌اند.

جدول ۸- مقادیر متوسط روزانه پارامترهای اقلیمی در دوره پایه و آتی برای مدل‌های GCM تحت سناریو ۸/۵

Table 8- Daily average values of climate parameters in the base and future periods for GCM models under the scenario 8.5

مدل Model	دمای حداقل Minimum temperature (℃)	دمای حداکثر Maximum temperature (℃)	بارش Precipitation (mm)
Baseline	6.80	22.08	0.63
CanESM2	8.55	23.70	0.74
GFDL	8.49	22.15	0.66
MIROC	8.95	22.57	0.71
IPSL	8.83	22.56	0.64
CSIROMK3.6	8.63	22.54	0.62
GISS-ES-R	8.41	21.82	0.78

وضعیت رطوبت موجود در خاک در دوره پایه و آتی

رطوبت ظرفیت زراعی خاک یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر رشد گیاه و بیلان آب در مزرعه می‌باشد. جدول ۹ مقادیر متوسط حداقل، حداکثر و میانگین رطوبت ظرفیت زراعی هفتگی را برای هر هفته از ۳۳ هفته دوره رشد گیاه در طی دوره پایه و آتی تحت دو سناریو ۴/۵ و ۸/۵ نشان می‌دهد. با توجه به جدول، مقادیر رطوبت هفتگی در دوره آتی نسبت به دوره پایه برای هر دو سناریو ۴/۵ و ۸/۵ کاهش یافته است. در تحقیق یعقوب‌زاده و همکاران

(Yaghoobzadeh et al., 2017) نیز مشابه نتایج این بخش، رطوبت هفتگی در دوره آتی نسبت به دوره پایه کاهش یافته است. به‌منظور مقایسه سناریوها در برآورد رطوبت هفتگی، سناریو ۴/۵ رطوبت حداقل و میانگین بیشتر و رطوبت حداکثر کمتری را نسبت به سناریو ۸/۵ برآورده کرده است. تفاوت حداقل و حداکثر رطوبت هفتگی خاک برای سناریو ۸/۵ نسبت به سناریو ۴/۵ و دوره پایه بیشتر بوده و این بیانگر عدم یکنواختی توزیع رطوبت در طی هفته‌های پس از رشد گیاه می‌باشد.

جدول ۹- مقادیر متوسط رطوبت هفتگی در دوره پایه و آتی تحت دو سناریو ٤/٥ و ٨/٥

Table 9- Average values of weekly moisture in the base and future periods under two scenarios 4.5 and 8.5

سناریوهای انتشار Emotion scenarios	رطوبت هفتگی Weekly moisture		
	میانگین Mean	حداکثر Maximum	حداقل Minimum
Baseline	0.301	0.342	0.233
RCP4.5	0.295	0.338	0.213
RCP8.5	0.294	0.339	0209

جدول ۱۰ مقادیر متوسط حداقل، حداکثر و میانگین رطوبت ظرفیت زراعی سالیانه را برای دوره پایه و آتی در طی ۳۳ هفته دوره رشد گیاه تحت دو سناریو ۴/۵ و ۸/۵ نشان می‌دهد. با توجه به جدول، مقادیر رطوبت سالیانه در دوره آتی نسبت به دوره پایه برای هر دو سناریو ۴/۵ و ۸/۵ کاهش یافته است. وینتر و همکاران (Winter et al., 2015) نیز در تحقیق خود به کاهش رطوبت در آینده اشاره کردند. به‌منظور مقایسه سناریوها در برآورد رطوبت سالیانه، سناریو ۴/۵ رطوبت حداقل و میانگین بیشتر و رطوبت حداکثر کمتری را نسبت به سناریو ۸/۵ برآورده کرده است. تفاوت حداقل و حداکثر رطوبت سالیانه خاک برای دوره پایه نسبت به هر دو سناریو ۴/۵ و ۸/۵ بیشتر بوده و این عدم یکنواختی توزیع رطوبت را در طی سال‌های دوره پایه نشان می‌دهد.

جدول ۱۰- مقادیر متوسط رطوبت سالیانه در دوره پایه و آتی تحت دو سناریو ٤/٥ و ٨/٥

Table 10- Average values of yearly moisture in the base and future periods under two scenarios 4.5 and 8.5

سناریوهای انتشار Emotion scenarios	رطوبت سالیانه Yearly moisture		
	میانگین Mean	حداکثر Maximum	حداقل Minimum
Baseline	0.300	0.316	0.282
RCP4.5	0.295	0.307	0.282
RCP8.5	0.294	0.309	0.279

جدول ۱۱ مقادیر متوسط حداقل، حداکثر و میانگین رطوبت ظرفیت زراعی هفتگی را در دوره پایه و آتی برای شش مدل GCM و دو سناریو ۴/۵ و ۸/۵ نشان می‌دهد. با توجه به این جدول مشخص می‌شود در چه هفته‌ای گیاه دچار کمبود رطوبت و تنش آبی شده است و یا چه هفته‌ای گیاه از شرایط رطوبتی خوبی برخوردار بوده است. برای سناریو ۴/۵، بیشترین و کمترین مقادیر رطوبت هفتگی به‌ترتیب توسط مدل‌های CanESM2 و MIROC، ولی برای سناریو ۸/۵، به‌ترتیب توسط مدل‌های CanESM2 و GFDL برآورد شده است. به‌منظور مقایسه سناریوها، مقادیر رطوبت هفتگی برای سناریو ۴/۵ نسبت به سناریو ۸/۵ بیشتر بود. برای سناریو ۸/۵، مدل GFDL دارای حداقل رطوبت ۰/۲۰۹ بوده که بر طبق این مدل، گیاه در یکی از هفته‌های دوره رشد خود، دچار کمبود رطوبت خواهد شد. همچنین با توجه به جدول مشخص است که اولاً مقادیر رطوبت برای هفته‌های دوره رشد گیاه در طی دوره پایه، از سایر مدل‌ها در دوره آتی بیشتر بوده و ثانیاً تفاوت حداقل و حداکثر رطوبت هفته‌ها نیز در دوره پایه کمتر از سایر مدل‌ها در دوره آتی می‌باشد. این امر می‌تواند سبب

شود در مراحلی از رشد گیاه، تنش زیادی به گیاه وارد شود و کاهش عملکرد را به دنبال داشته باشد. نتایج به‌دست آمده در این بخش با نتایج تحقیق روان و همکاران (Ruane et al., 2013) مطابقت دارد.

جدول ۱۱- مقادیر متوسط رطوبت هفتگی برای شش مدل GCM تحت دو سناریو ٤/٥ و ٨/٥

Table 11- Average values of weekly moisture for the six GCM models under two scenarios of 4.5 and 8.5

مدل Model	سناریوهای انتشار Emotion scenarios RCP4.5			RCP8.5		
	حداقل Minimum	حداکثر Maximum	میانگین Mean	حداقل Minimum	حداکثر Maximum	میانگین Mean
CanESM2	0.216	0.337	0.298	0.232	0.334	0.297
GFDL	0.215	0.337	0.295	0.209	0.337	0.291
MIROC	0.219	0.335	0.292	0.220	0.335	0.293
IPSL	0.224	0.338	0.295	0.214	0.336	0.292
CSIROMK3.6	0.213	0.336	0.293	0.212	0.337	0.293
GISS-ES-R	0.227	0.337	0.296	0.219	0.339	0.295
Baseline	0.233	0.342	0.301	0.233	0.342	0.301

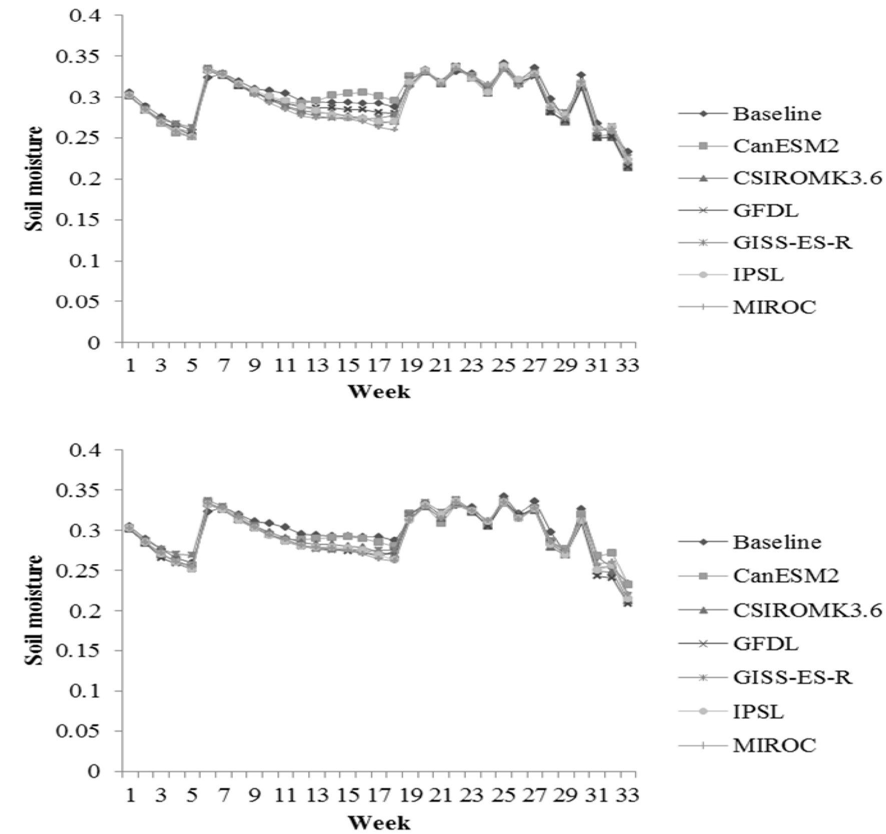
جدول ۱۲ مقادیر متوسط حداقل، حداکثر و میانگین رطوبت ظرفیت زراعی سالیانه را در دوره پایه و آتی برای شش مدل GCM و دو سناریو ۴/۵ و ۸/۵ نشان می‌دهد. برای سناریو ۴/۵، بیشترین و کمترین مقادیر رطوبت سالیانه به‌ترتیب توسط مدل‌های Canesm2 و MIROC، ولی برای سناریو ۸/۵، به‌ترتیب توسط مدل‌های CanESM2 و GFDL برآورد شده است. به منظور مقایسه سناریوها، مقادیر رطوبت سالیانه برای سناریو ۴/۵ نسبت به سناریو ۸/۵ بیشتر بود. برای سناریو ۸/۵، مدل های GFDL و IPSL دارای حداقل رطوبت ۰/۲۷۹ بوده که نشان از شرایط کم‌رطوبتی در یکی از سال‌های دوره آتی در مزرعه دارد.

جدول ۱۲- مقادیر متوسط رطوبت سالیانه برای شش مدل GCM تحت دو سناریو ٤/٥ و ٨/٥

Table 12- Average values of yearly moisture for the six GCM models under two scenarios of 4.5 and 8.5

مدل Model	سناریوهای انتشار Emotion scenarios RCP4.5			RCP8.5		
	حداقل Minimum	حداکثر Maximum	میانگین Mean	حداقل Minimum	حداکثر Maximum	میانگین Mean
CanESM2	0.284	0.307	0.298	0.287	0.304	0.297
GFDL	0.289	0.306	0.295	0.279	0.303	0.291
MIROC	0.282	0.302	0.292	0.284	0.302	0.293
IPSL	0.284	0.305	0.295	0.279	0.301	0.292
CSIROMK3.6	0.286	0.304	0.293	0.286	0.304	0.293
GISS-ES-R	0.288	0.305	0.296	0.283	0.309	0.295
Baseline	0.282	0.316	0.300	0.282	0.316	0.300

شکل ۳ روند تغییرات رطوبت ظرفیت زراعی هفتگی را برای دو سناریو ۴/۵ و ۸/۵ در طی دوره رشد گیاه مشخص می‌کند. با توجه به شکل مشخص می‌شود در هر یک از هفته‌های دوره رشد گیاه، رطوبت هفتگی خاک در طی دوره آتی نسبت به دوره پایه چگونه تغییر می‌نماید و در چه هفته‌هایی گیاه از کمترین رطوبت برخوردار بوده است. هفته‌های ۱۰، ۱۱، ۲۷، ۲۸ و ۳۰ در طی دوره رشد گیاه، هفته‌های هشداردهنده برای هر دو سناریو ۴/۵ و ۸/۵ نسبت به دوره پایه می‌باشند.



شکل ۳- تغییرات رطوبت هفتگی خاک در دوره پایه و آتی تحت دو سناریو ٤/٥ (بالا) و ٨/٥ (پایین)

Fig. 3- The weekly moisture variations of the soil in the base and future periods under two scenarios of 4.5 (top) and 8.5 (bottom)

شکل ۴ روند تغییرات رطوبت ظرفیت زراعی سالیانه را برای دو سناریو ۴/۵ و ۸/۵ در طی دوره پایه و آتی مشخص می‌کند. با توجه به شکل مشخص می‌شود در هر یک از سال‌های دوره آتی نسبت به دوره پایه، رطوبت سالیانه خاک در طی دوره رشد گیاه چگونه تغییر می‌نماید و در چه سال‌هایی گیاه از کمترین رطوبت برخوردار بوده است. سال‌های ۱، ۳، ۶، ۱۳، ۱۸ و ۱۹ در طی دوره آتی، سال‌های هشداردهنده برای هر دو سناریو ۴/۵ و ۸/۵ نسبت به دوره پایه می‌باشند.

عدم قطعیت مدل‌های GCM در برآورد رطوبت خاک

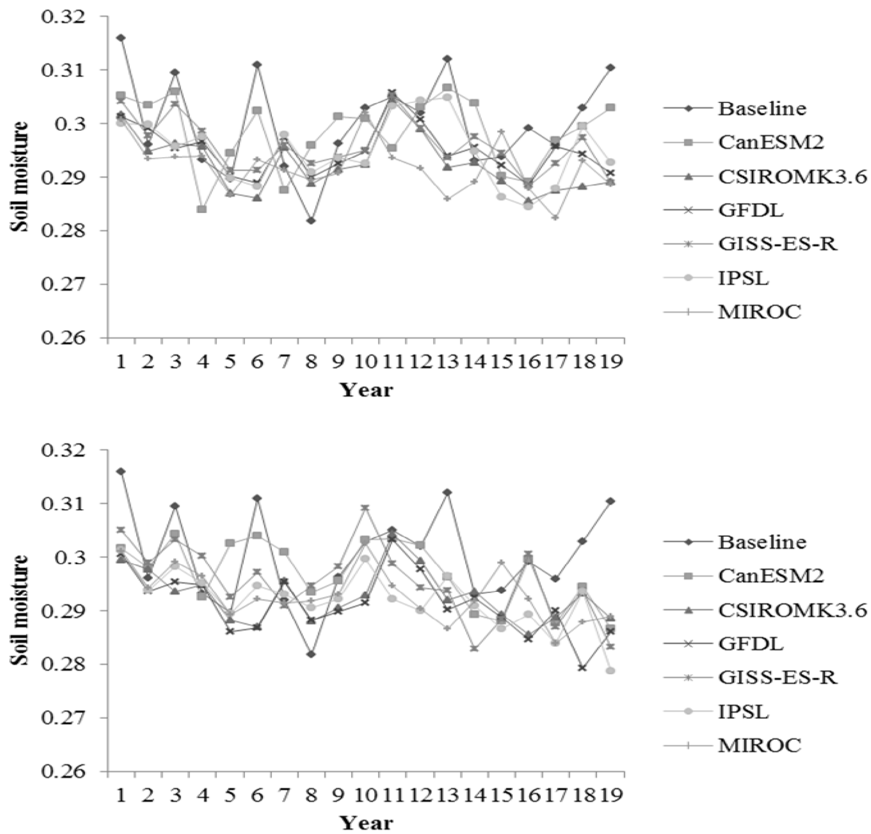
دامنه تغییرات رطوبت ظرفیت زراعی هفتگی خاک برای شش مدل GCM تحت دو سناریو ۴/۵ و ۸/۵ در شکل ۵ نشان داده شده است. به‌منظور مقایسه مدل‌ها تحت سناریو ۴/۵، مدل‌های CanESM2 و GFDL و تحت سناریو ۸/۵، مدل CanESM2 به‌دلیل ضخامت کمتر باند، از قطعیت بیشتری نسبت به سایر مدل‌ها برخوردار هستند. از طرفی، با توجه به شکل برای هر دو سناریو ۴/۵ و ۸/۵، رطوبت در تمامی مدل‌ها روند کاهشی دارد.

دامنه تغییرات رطوبت ظرفیت زراعی سالیانه خاک برای شش مدل GCM تحت دو سناریو ۴/۵ و ۸/۵ در شکل ۶ نشان داده شده است. به‌منظور مقایسه مدل‌ها تحت سناریو ۴/۵، مدل MIROC به‌دلیل ضخامت کمتر باند و مدل IPSL به‌دلیل ضخامت بیشتر باند به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین قطعیت، ولی تحت سناریو ۸/۵، مدل IPSL به‌دلیل ضخامت کمتر باند دارای بیشترین قطعیت و مدل‌های CanESM2 و GISS-ES-R به‌دلیل ضخامت بیشتر باند دارای کمترین قطعیت نسبت به سایر مدل‌ها می‌باشند. از طرفی، مقادیر رطوبت در دوره آتی نسبت به دوره پایه، برای تمامی مدل‌ها و

تحت هر دو سناریو ۴/۵ و ۸/۵ کمتر برآورد شده است.

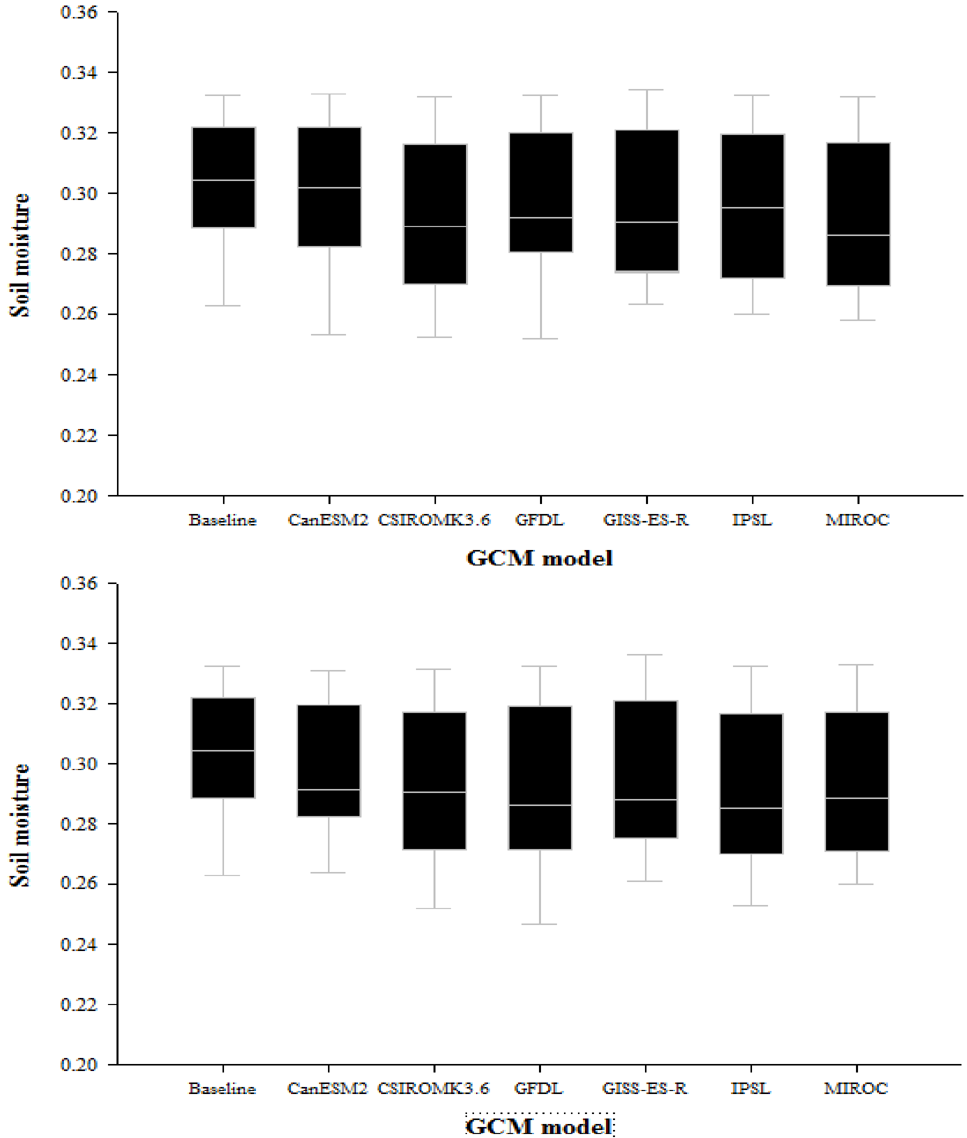
عدم قطعیت سناریوهای انتشار در برآورد رطوبت خاک

برای نشان دادن دامنه تغییرات سناریوهای انتشار ۴/۵ و ۸/۵ در تخمین رطوبت ظرفیت زراعی خاک از شش مدل GCM استفاده شد. در شکل ۷ دامنه تغییرات رطوبت هفتگی تحت دو سناریو ۴/۵ و ۸/۵ نشان داده شده است. در این شکل، قطعیت هر دو سناریو ۴/۵ و ۸/۵ نسبت به دوره پایه کمتر است و سناریو ۸/۵، رطوبت را نسبت به دوره پایه و سناریو ۴/۵ کمتر برآورد کرده است. شکل ۸ دامنه تغییرات رطوبت سالیانه را تحت دو سناریو ۴/۵ و ۸/۵ نشان می‌دهد. در این شکل، قطعیت هر دو سناریو ۴/۵ و ۸/۵ نسبت به دوره پایه بیشتر است و سناریو ۸/۵، رطوبت را نسبت به دوره پایه و سناریو ۴/۵ کمتر برآورد کرده است.



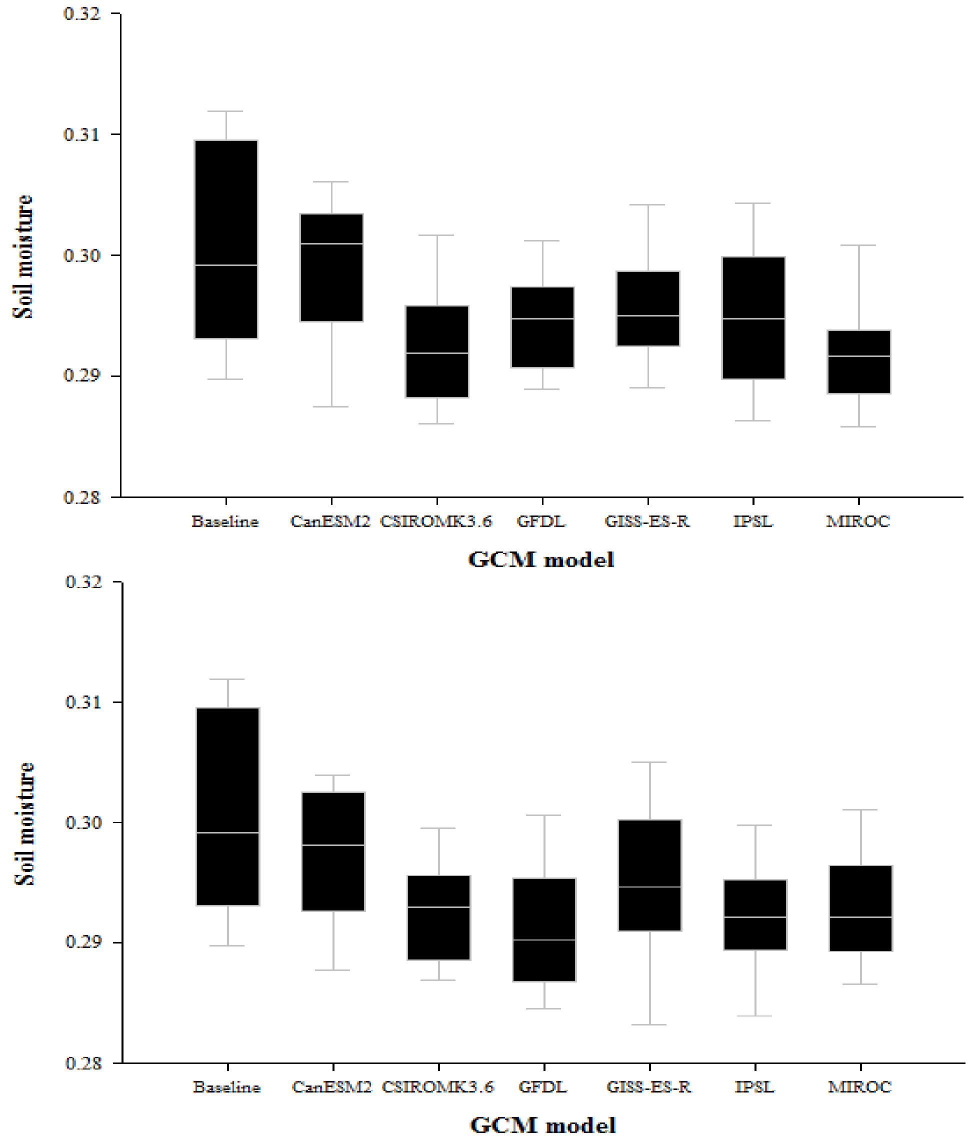
شکل ٤- تغییرات رطوبت سالیانه خاک در دوره پایه و آتی تحت دو سناریو ٤/٥ (بالا) و ٨/٥ (پایین)

Fig. 4- The yearly moisture variations of the soil in the base and future periods under two scenarios of 4.5 (top) and 8.5 (bottom)



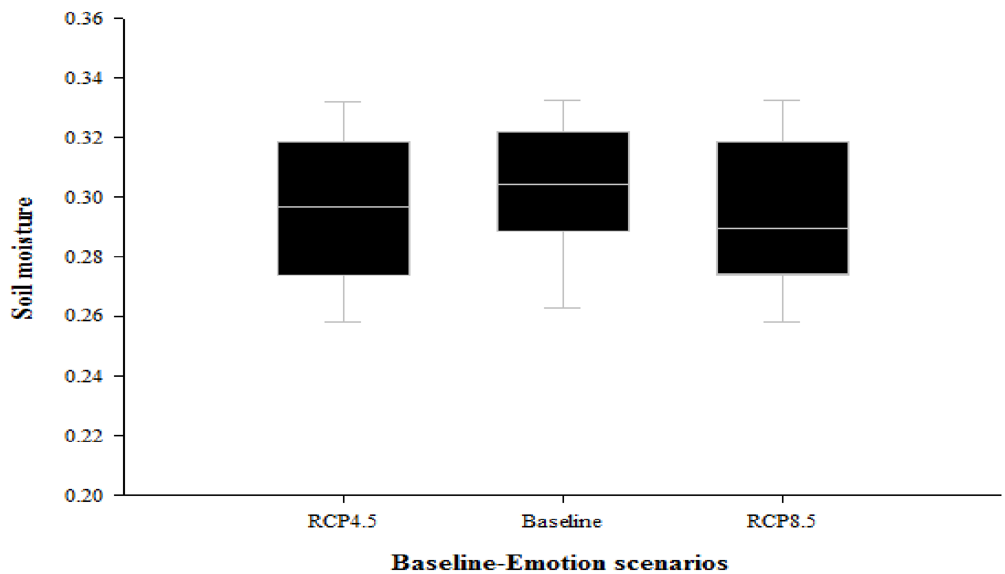
شکل ۵- نمودار جعبه‌ای مقادیر متوسط رطوبت هفتگی خاک در دوره پایه و آتی تحت دو سناریو ٤/٥ (بالا) و ٨/٥ (پایین)

Fig. 5- Box plot of average values of weekly soil moisture in the base and future periods under two scenarios of 4.5 (top) and 8.5 (bottom)



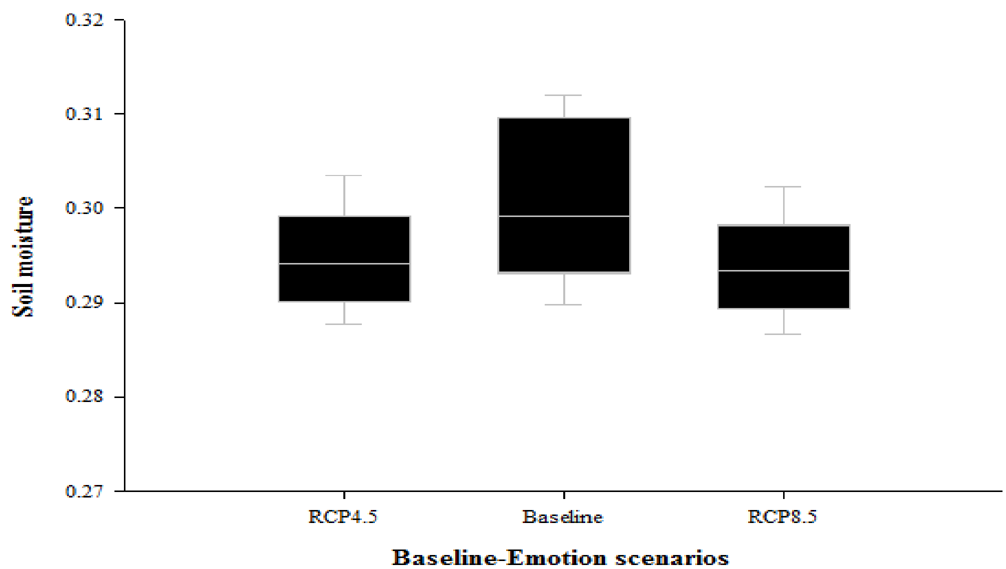
شکل ٦- نمودار جعبه‌ای مقادیر متوسط رطوبت سالیانه خاک در دوره پایه و آتی تحت دو سناریو ٤/٥ (بالا) و ٨/٥ (پایین)

Fig. 6- Box plot of average values of yearly soil moisture in the base and future periods under two scenarios of 4.5 (top) and 8.5 (bottom)



شکل ۷- نمودار جعبه‌ای مقادیر متوسط رطوبت هفتگی در طی دوره پایه و آتی تحت دو **سناریو** ٤/٥ و ٨/٥

Fig. 7- Box plot of average values of weekly moisture during the base and future periods under two scenarios of 4.5 and 8.5



شکل ۸- نمودار جعبه‌ای مقادیر متوسط رطوبت سالیانه در طی دوره پایه و آتی تحت دو **سناریو** ٤/٥ و ٨/٥

Fig. 8- Box plot of average values of yearly moisture during the base and future periods under two scenarios of 4.5 and 8.5

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، برای تولید داده‌های اقلیمی و مشخص شدن تغییرات پارامترهای هواشناسی در دوره آتی (۲۰۳۹-۲۰۲۰) نسبت به دوره پایه (۲۰۱۱-۱۹۹۲) از شش مدل GCM تحت تأثیر دو سناریو انتشار ۴/۵ و ۸/۵ استفاده شد. به‌منظور ریزمقیاس نمایی داده‌های اقلیمی روزانه، از مدل LARS-WG استفاده شد و پارامترهای اقلیمی برای دوره آتی برآورد گردید. سپس به‌کمک مدل SWAP، مقادیر رطوبت در عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک تعیین شد و در نهایت، وضعیت

رطوبت خاک تحت سناریوهای اقلیمی در دوره پایه و آتی بررسی شد. نتایج تغییرات پارامترهای اقلیمی نشان داد، دمای حداقل، حداکثر و بارش برای مدل‌های GCM در دوره آتی نسبت به دوره پایه افزایش یافته است. در مقایسه سناریوها، سناریو ۸/۵ نسبت به ۴/۵، افزایش بیشتری در دما و کاهش بیشتری در بارش را نشان داد.

میانگین رطوبت ظرفیت زراعی خاک در طی دوره پایه و آتی تعیین شد. نتایج نشان داد که رطوبت خاک در دوره آتی نسبت به دوره پایه برای هر دو سناریو ۴/۵ و ۸/۵ کاهش یافته است. با این‌وجود، سناریو ۴/۵ مقادیر بیشتری از رطوبت را نسبت به سناریو ۸/۵ برای شش مدل GCM نشان داد. پایین بودن مقدار رطوبت سناریو ۸/۵ به‌دلیل دمای بیشتر و بارش کمتر نسبت به سناریو ۴/۵ بود. تفاوت حداقل و حداکثر رطوبت هفتگی خاک برای سناریو ۸/۵ نسبت به سناریو ۴/۵ و دوره پایه بیشتر بوده و این بیانگر عدم یکنواختی توزیع رطوبت در طی هفته‌های پس از رشد گیاه می‌باشد. با توجه به روند تغییرات رطوبت هفتگی، هفته‌های ۱۰، ۱۱، ۲۷، ۲۸ و ۳۰ در طی دوره رشد گیاه، هفته‌های هشداردهنده برای هر دو سناریو ۴/۵ و ۸/۵ نسبت به دوره پایه می‌باشند. نتایج قطعیت رطوبت هفتگی نشان داد، تحت سناریو ۴/۵، مدل‌های CanESM2 و GFDL و تحت سناریو ۸/۵، مدل CanESM2 از قطعیت بیشتری نسبت به سایر مدل‌ها برخوردار هستند. همچنین تفاوت حداقل و حداکثر رطوبت سالیانه خاک برای دوره پایه نسبت به سناریوهای ۴/۵ و ۸/۵ بیشتر بوده و این عدم یکنواختی توزیع رطوبت را در طی سال‌های دوره پایه نشان می‌دهد. با توجه به روند تغییرات رطوبت سالیانه، سال‌های ۱، ۳، ۶، ۱۳، ۱۸ و ۱۹ در طی دوره آتی، سال‌های هشداردهنده برای هر دو سناریو ۴/۵ و ۸/۵ نسبت به دوره پایه می‌باشند. نتایج قطعیت رطوبت سالیانه نشان داد، تحت سناریو ۴/۵، مدل‌های MIROC و IPSL به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین قطعیت، ولی تحت سناریو ۸/۵، مدل IPSL دارای بیشترین قطعیت و مدل‌های CanESM2 و GISS-ES-R دارای کمترین قطعیت نسبت به سایر مدل‌ها می‌باشند.

سپاس‌گزاری

بدین‌وسیله از پشتیبانی دانشگاه بیرجند از این تحقیق که در قالب طرح پژوهشی به شماره ابلاغیه ۸۷۵/د/۱۳۹۷مورخ ۱۳۹۷/۱/۲۶ انجام شده است، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود.

References

Adhikari, U., and Nejadhashemi, A.P., 2016. Impacts of climate change on water resources in Malawi. Journal of Hydrologic Engineering 21(11): 1084-0699.

Dehghan, H., Alizadeh, A., and Haghayeghi, S.A., 2011. Water balance components estimating in farm Scale Using Simulation Model SWAP. Journal of Water and Soil 24(6): 1265-1275. (In Persian with English Summary)

Hauser, M., and Orth, R., 2017. Investigating soil moisture-climate interactions with prescribed soil moisture experiments: An assessment with the Community Earth System Model. Geoscientific Model Development 10(4): 1665-1677.

Hosseinzadeh, J., Tongo, A., Najafifar, A., and Hosseini, A., 2018. Relationship between soil moisture changes and climatic indices in the Mele-Siah Forest Site of Ilam province. Journal of Water and Soil 32(4): 821-830. (In Persian with English Summary)

Khanmohammadi, F., Homaee, M., and Noroozi, A., 2015. Soil moisture estimating with NDVI and land surface temperature and normalized moisture index using MODIS images. Journal of Soil and Water Resources Conservation 4(2): 37-45. (In Persian with English Summary)

Khoshhal Dastjerdi, J., Mostafavi Darani, S.M., and Ghatre Samani, M., 2010. Effects of changes on soil moisture in wheat cultivar (Case study: Daran-Isfahan province). The First International Conference on Plant, Water, Soil and Weather Modeling, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran, 14-15 November 2010. (In Persian with English Summary)

Nahvinia, M.J., Moaveni, B., and Shahidi, A., 2018. Assessment of SWAP Model in estimating the slinity and soil moisture content (Case study: Birjand). Iranian Journal of Irrigation and Drainage 12(5): 1174-1188. (In Persian with English Summary)

Narasimhan, B., and Srinivasan, R., 2005. Development and evaluation of Soil Moisture Deficit Index (SMDI) and Evapotranspiration Deficit Index (ETDI) for agricultural drought monitoring. Agricultural and Forest Meteorology

133(1-4): 69-88.

Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., Van Der Linden, P.J., and Hanson, C.E., 2007. IPCC, 2007: climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of working group II to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge Uni-versity Press, Cambridge, UK.

Ruane, A.C., Cecil, L.D., Horton, R.M., Gordón, R., McCollum, R., Brown, D., Killough, B., Goldberg, R., Greeley, A.P., and Rosenzweig, C., 2013. Climate change impact uncertainties for maize in Panama: Farm information, climate projections, and yield sensitivities. Agricultural and Forest Meteorology 170: 132-145.

Sayari, N., Bannayan, M., Alizadeh, A., and Farid, A., 2013. Using drought indices to assess climate change impacts on drought conditions in the northeast of Iran (Case study: Kashafrood basin). Meteorological Applications 20(1): 115-127.

Semenov, M.A., 2008. Impacts of climate change on wheat in England and Wales. Journal of the Royal Society Interface 6(33): 343-350.

Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., and Midgley, B.M., 2013. IPCC, 2013: climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to The Fifth Assessment Report of The Intergovernmental Panel on Climate Change.

Tavakoli, M., and De Smedt, F., 2011. Impact of climate change on streamflow and soil moisture in the Vermilion Basin, Illinois. Journal of Hydrologic Engineering 17(10): 1059-1070.

Van Pelt, S.C., and Swart, R.J., 2011. Climate change risk management in transnational river basins: the Rhine. Water Resources Management 25(14): 3837-3861.

Winter, J.M., Yeh, P.J.F., Fu, X., and Eltahir, E.A.B., 2015. Uncertainty in modeled and observed climate change impacts on American Midwest hydrology. Water Resource Research 51(5): 3635-3646.

Yaghoobzadeh, M., Amirabadizadeh, M., Ramezani, Y., and Pourreza-Bilondi, M., 2018. An uncertainty analysis of general circulation models for estimation of soil moisture affected by climate change. Iranian Jornal of Soil and Water Research 48(5): 1109-1119. (In Persian with English Summary)

Yaghoobzadeh, M., Amirabadizadeh, M., Ramezani, Y., and Pourreza-bilondi, M., 2017. The investigation of uncertainty emissions scenarios of climate change in soil moisture estimation during the growing season of wheat. Iranian Journal of Irrigation and Drainage 11(4): 586-596. (In Persian with English Summary)

Simulation of Soil Moisture for the Upcoming Period by SWAP Model using Climate Change Models and Fifth Report Scenarios (Case Study: Wheat (*Triticum aestivum* L.) Field in Faroub of Neyshabour)

S. Ghavamsaeidi Noghabi[1*], M. Yaghoobzadeh[2], H. Mansoori[3], H. Hammami[4], M. Salehi Tabas[1] and M.H. Najafi Mood[2]

Submitted: 11-03-2019
Accepted: 22-05-2019

Ghavamsaeidi Noghabi, S., Yaghoobzadeh, M., Mansoori, H., Hammami, H., Salehi Tabas, M., and Najafi Mood, M.H., 2020. Simulation of soil moisture for the upcoming period by SWAP model using climate change models and fifth report scenarios (case study: wheat (*Triticum aestivum* L.) field in Faroub of Neyshabour). Journal of Agroecology 12(3):469-486.

Introduction

Climate change is one of the major challenges which society will face during current century. Temperatures are projected to increase up to 2 ºC by 2100, which is expected to result in major changes in the atmosphere's energy balance and the hydrological cycle. The term soil moisture generally refers to temporary storage of precipitation at a depth of 1 to 2 meters from the soil profile). Soil moisture in the root zone well known as a very important factors that severely effects on crop productivity. Hence, the study of soil moisture changes is crucial for the planning and managing water resources in the coming periods. Accordingly, this study was conducted in order to predict and stimulate soil moisture in upcoming period (2020-2039) according to baseline (1992-2011).

Materials and Methods

The study area in this research was Neyshabour plain located in Khorasan Razavi province. At first, SWAP model implemented using meteorological and agronomic data from study area, and soil moisture of field capacity is simulated for 30 cm soil depth. Then, to ensure the results of moisture simulation, the moisture content of the model is calibrated and validated using the measured soil moisture content of the 2008-2009. After ensuring the accuracy of the model results, soil moisture is simulated for the baseline (1992-2011). Then, to estimate moisture content in the upcoming period (2020-2039) six models (CanESM2, GFDL, MIROC, IPSL, CSIROMK3.6, and GISS-ES-R) and two emotion scenarios (RCP4.5 and 8.5) were used, as well as the ratio of the weekly and yearly values of the meteorological parameters of the upcoming period, which estimated using the baseline. In addition, to evaluate SWAP model accuracy, Root Mean-Squared Error (RMSE), Mean Absolute Error (MAE), and Coefficient of Determination (R^2) were used. Data obtained by Neyshabur Synoptic Station (1992-2011) were utilized in order to determine daily weather patterns and future weather parameters. Temperature and precipitation parameters determined by the LARS-WG model.

Results and Discussion

In order to use the SWAP simulated moisture, initially the model calibrated and validated with measured soil moisture data from 2008-2009 growth season. So, after soil moisture simulation for 2008-2009, the measured data by TDR used for calibration and validation model. The coefficient of determination factor (R^2) between simulated and measured results was 79.5%. The climate parameters used in this study include minimum and maximum temperatures and precipitation, which are known as the most important factors affecting the soil

1- Department of Science and Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.
2- Assistant Professor, Department of Science and Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.
3- Assistant Professor, Sugar Beet Research Department, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Hamedan, Iran
4- Assistant Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.
(*- Corresponding Author Email: saeidghavam@birjand.ac.ir)
Doi:10.22067/jag.v12i3.79665

moisture. According to table 6, the minimum and maximum temperatures and precipitation for the upcoming period will increase compared to the baseline. On the other hand, According to table 9 and table 10, under two scenarios, the means, maximum and minimum soil moisture decrease compared to baseline. The weekly and yearly uncertainty in soil moisture under two scenarios showed in figures 4 and 5, respectively. Under the 4.5 scenario, the MIROC model due to the lower band thickness and the IPSL model, due to the higher bandwidth thickness, have the highest and lowest accuracy, respectively. Whereas, under the 8.5 scenario, the IPSL model has the highest accuracy and the CanESM2 and GISS-ES-R models have the lowest accuracy compared to other models. Results of weekly and yearly uncertainty showed less and more uncertainty for weekly and yearly soil moisture, respectively.

Conclusions

In general, results of this study revealed that minimum, maximum temperature and precipitation will increase in upcoming period compared to baseline. Soil moisture decrease in upcoming period compared to baseline under two scenarios (4.5 and 8.5). Moreover, temperature was higher and precipitation was lower under 8.5 scenario rather than 4.5 scenario. Therefore, 8.5 scenario showed worse condition compared to 4.5 scenario. Results of this study showed lower soil moisture in 1, 3, 6, 13, 18, and 19 years in upcoming period under two scenarios. Therefore, these years known as warning condition compared to baseline.

Keywords: Climate change, Emotion scenarios, GCM model, SWAP model.